(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

УДК: 661.81 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.37

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ АДСОРБЕНТОВ, НАСЫЩЕННЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОСИТЕЛЕЙ И КОАГУЛЯНТОВ

Исаева Нурхон Фархатовна
Доктор филофии по техническим наукам, старший научный сотрудник Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: nurhonisaeva@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8513-6975

Каримов Маъсуд Убайдулла угли
Доктор технических наук, профессор, Ташкентского научно-исследовательского института химической технологии, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *В статье рассматривается одно из перспективных направлений инновационного развития – глубокая переработка промышленных отходов, в частности, отработанных адсорбентов, содержащих оксид алюминия. Представлен системный подход к повторному использованию таких материалов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия и носителей катализаторов. Обсуждаются технологические решения по получению алюминатов и коагулянтов, включая стадии соосаждения, созревания и трансформации компонентов, а также экологические и экономические аспекты переработки. Особое внимание уделено возможностям регулирования морфологических характеристик материалов, что позволяет создавать сорбенты и катализаторы с заданными свойствами.*

Ключевые слова: *отработанные адсорбенты, гидроксид алюминия, алюминаты, коагулянты, оксид алюминия, техногенное сырье, рецикл, хлорсодержащие соединения.*

TASHUVCHILAR VA KOAGULYANTLAR OLISH UCHUN XLORLI BIRIKMALAR BILAN TO‘YINGAN ISHLATILGAN ADSORBENTLARNI CHUQUR QAYTA ISHLASHGA INNOVATSION YONDASHUVLAR

Isayeva Nurxon Farxatovna
Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori, Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti katta ilmiy xodimi, Toshkent, O‘zbekiston

Karimov Ma’sud Ubaydulla o‘g‘li
Toshkent kimyo-texnologiya ilmiy-tadqiqot instituti texnika fanlari doktori, professor, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Ushbu maqolada innovatsion rivojlanishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri — sanoat chiqindilarini, xususan, aluminiy oksidi saqlovchi ishlatilgan adsorbentlarni chuqur qayta ishlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Bunday materiallarni aluminiy gidroksidi va katalizator tashuvchilarini sintez qilish uchun xomashyo sifatida takroran ishlatishga yo‘naltirilgan tizimli yondashuv taqdim etilgan. Alyuminatlar va koagulyantlar olish texnologiyasi, jumladan, birga cho‘ktirish, yetilish va komponentlarni transformatsiya qilish bosqichlari hamda qayta ishlashning ekologik va iqtisodiy jihatlari muhokama qilingan. Materiallarning morfologik xususiyatlarini boshqarish imkoniyatlariga alohida e’tibor qaratilgan bo‘lib, bu belgilangan xususiyatlarga ega bo‘lgan sorbentlar va katalizator-*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

larni yaratishga imkon beradi.
Kalit so'zlar: *ishlatilgan adsorbentlar, aluminiy gidroksidi, alyuminatlar, koagulyantlar, aluminiy oksidi, texnogen xomashyo, qayta ishlash, xlor saqlovchi birikmalar.*

INNOVATIVE APPROACHES TO THE DEEP PROCESSING OF SPENT ADSORBENTS SATURATED WITH CHLORINE-CONTAINING COMPOUNDS TO OBTAIN CARRIERS AND COAGULANTS

Isaeva Nurkhon Farkhatovna
Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Senior Researcher at the Tashkent Chemical Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Karimov Masud Ubaydulla ugli
Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent Chemical Technology Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article discusses one of the promising areas of innovative development — the advanced processing of industrial waste, in particular, spent adsorbents containing aluminum oxide. A systematic approach is presented for the reuse of such materials as raw sources for the synthesis of aluminum hydroxide and catalyst supports. Technological solutions for the production of aluminates and coagulants are discussed, including stages of co-precipitation, aging, and component transformation, as well as the environmental and economic aspects of recycling. Special attention is given to the potential for controlling the morphological characteristics of the materials, which enables the design of sorbents and catalysts with tailored properties.*
Keywords: *spent adsorbents, aluminum hydroxide, aluminates, coagulants, aluminum oxide, technogenic raw materials, recycling, chlorine-containing compounds.*

Введение. Одним из актуальных направлений в контексте устойчивого развития и экологической безопасности является внедрение безотходных технологий и повторное использование промышленных отходов. Отработанные адсорбенты, обогащенные оксидом алюминия, представляют собой высококачественное техногенное минеральное сырье, пригодное для синтеза новых функциональных материалов [1]. Использование отработанных адсорбентов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия и последующего получения носителей катализаторов представляет собой перспективный подход к переработке промышленных отходов [2].

Существенным экономическим аспектом является переработка механически прочных гранул отработанных адсорбентов с установок риформинга, насыщенных хлорсодержащими соединениями, с последующим повторным использованием. Разрушенные гранулы адсорбентов предлагается направлять на получение востребованного сырья для производства носителей различных катализаторов и адсорбентов широкого профиля с удельной поверхностью и морфологией, регулируемыми на стадиях соосаждения и созревания гидроксида алюминия. В связи с важностью процесса получения гиббсита были подробно исследованы факторы, определяющие размер частиц $Al(OH)_3$, кристаллизацию активных гидроксидов алюминия, кинетические закономерности формирования грубодисперсного гиббсита и другие аспекты осаждения различных модификаций гидроксида алюминия из натрий-алюминатных растворов. Особо отмечена роль трансформации части оксида алюминия в соответствующие алюминаты не только для эффективного удаления хлорсодержащих соединений, но и для значительного снижения образования хлорированных олигомеров, особенно при очистке водородсодержащего газа каталитического риформинга, проводимого при пониженном давлении [3]. Использование отработанных адсорбентов в качестве сырья для синтеза гидроксида алюминия позволяет получать носители катализаторов с регулируемыми текстурными характеристиками. Процесс включает стадии осаждения, созревания, сушки и растворения в кислоте. Подход также ориентирован на

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

создание технологий с максимальным использованием местного сырья [4,5]. Формирование носителей на основе $Al(OH)_3$ осуществляется через контролируемое осаждение из натрий-алюминатных растворов. Исследования показали, что морфология и дисперсность получаемого гиббсита зависят от температуры, времени выдержки и состава раствора. Трансформация части оксида алюминия в алюминаты способствует не только улавливанию хлорорганических соединений, но и снижает вероятность образования хлорированных олигомеров в риформинг-процессах [3].

Методология исследования. Существенным экономическим аспектом является переработка механически прочных гранул отработанных адсорбентов с установок риформинга, насыщенных хлорсодержащими соединениями, с последующим повторным использованием. Разрушенные гранулы предлагается направлять на получение востребованного сырья для производства носителей катализаторов и адсорбентов с удельной поверхностью и морфологией, регулируемыми на стадиях соосаждения и созревания гидроксида алюминия. Предлагаемый подход позволяет сократить объёмы промышленных отходов и снизить зависимость от природных ресурсов.

Эксперименты проводились с целью получения соединений алюминия и оценки степени извлечения алюминия из отходов. Ниже приводится описание основных параметров экспериментов.

Исходные компоненты и условия синтеза:

1. Масса гидроксида алюминия фиксирована и составляет 200 г для каждого опыта.

2. Масса соляной кислоты варьируется от 190 до 330 г, что позволяет изменять мольное соотношение $Al(OH)_3$: HCl в диапазоне от 1:1,75 до 1:3,0.

3. Объем растворов (V) колеблется от 300 до 430 см³, а плотность (ρ) растворов находится в диапазоне 1,22–1,23 г/см³.

4. Значение pH раствора после реакции варьируется от -0,7 до 1,8 в зависимости от условий синтеза.

Состав растворов и показатели:

1. Концентрация ионов алюминия (Al^{3+}) в растворе после синтеза достигает максимума 47,2 г/дм³.

2. Общая концентрация хлорид-ионов (Cl^-) варьируется от 185 до 214 г/дм³, из которых часть приходится на NaCl.

3. Свободная соляная кислота (HCl) остается в растворе в количестве от 33 до 62 г/дм³.

Таблица 1.

Описание эксперимента по взаимодействию гидроксида алюминия с соляной кислотой

№ опыта	Исходные компоненты		Условия синтеза	Состав раствора и др. показатели после синтеза										
	Отход, г	Кислота, г	Мольное соотношение $Al(OH)_3$: HCl	Al^{3+}, г/дм³	Cl^-, общ, г/дм³	Cl^-, (NaCl), г/дм³	HCl своб, г/дм³	V, см³	P, г/см³	pH	Al_2O_3, %	Основность (N), %	Формула соединения	Степень извлечения алюминия из отходов, %
1	200	330	1:3,0	47,0	214	25	62	430	1,22	-0,7	7,34	0	$AlCl_3$	98
2	200	290	1:2,67	47,2	205	27	40	390	1,23	1,1	7,25	5	$Al(OH)_{0.14}Cl_{2.86}$	89
3	200	275	1:2,55	46,7	202	28	38	378	1,23	1,4	6,85	5	$Al(OH)_{0.15}Cl_{2.85}$	85
4	200	230	1:2,12	42,5	191	31	35	340	1,23	1,6	6,72	5	$Al(OH)_{0.15}Cl_{2,85}$	72
5	200	190	1:1,75	40,0	185	35	33	300	1,23	1,8	6,22	5	$Al(OH)_{0,16}Cl_{2,84}$	58

В результате реакции образуются следующие соединения алюминия: при максимальном мольном соотношении (1:3,0) формируется хлорид алюминия ($AlCl_3$), при снижении количества кислоты образуются смешанные соединения гидроксихлоридов алюминия, такие как $Al(OH)_{0.14}Cl_{2.86}$ и $Al(OH)_{0.16}Cl_{2.86}$. $Al(OH)_{0.14}Cl_{2.86}$ и $Al(OH)_{0.16}Cl_{2.86}$ являются представителями гидроксохлоридов алюминия с очень низким коэффициентом основности. Их свойства делают их полезными в различных промышленных и бытовых приложениях.

Выявлено, что во время эксплуатации адсорбентов в их составе происходит накопление следующих основных продуктов хемо-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

сорбции: NaCl, $AlCl_3$, $AlCl_3.6H_2O$ и возможно $Al_2(OH)_nCl(6–n)$. Соотношение указанных веществ варьировалось для каждого исследованного адсорбента в довольно широких пределах. Максимальное количество хлорсодержащих соединений алюминия, обладающих коагулирующими свойствами, было обнаружено в составе отработанных Уз-АД-1 и SAS-857. При контрольном замачивании пяти параллельных проб каждого из исследуемых образцов в воде или слабощелочном растворе (pH≈9), более 50% гранул разрушались, вследствие высокого содержания гигроскопичных веществ. При аналогичном тестировании гидролитической устойчивости других отработанных адсорбентов выход целых гранул был выше. Целевым продуктом переработки использованных адсорбентов являются гранулы, которые в процессе термохимической обработки в значительной степени восстанавливают сорбционную способность, сохраняя первоначальную сферическую форму и механическую прочность. Промывные воды и осадки, полученные в процессе модификации адсорбентов, были использованы как сырье для получения коагулянтов. После отделения NaCl, маточный раствор упаривали до необходимой плотности, а твёрдые остатки, представляющие собой осколки гранул, сушили, измельчали и растворяли в 20%-ной HCl при Ж:Т=6:1 в течение 3 ч. Раствор применялся для дальнейших целей получения высокоосновных коагулянтов [2].

Результаты и их обсуждение. В процессе получения новых адсорбентов выявлено, что большее количество полезных побочных продуктов может быть получено из отходов (при выбранных условиях), остаток состоит из смеси оксидов алюминия, преимущественно в гамма форме. Получение нового адсорбента Уз-АД-6 осуществлялось в несколько этапов с учетом неравномерности распределения и химических свойств адсорбируемых веществ в отработанном адсорбенте Axstrap. Водород и углеводороды в составе очищаемого газа слабо связаны с материалом адсорбента (в основном физическая адсорбция) и легко вытесняются с его поверхности полярными молекулами HCl и H2O в процессе адсорбции. Хемосорбция, т.е. адсорбция с образованием новых химических соединений, протекала при взаимодействии со щелочными веществами, а затем с гидроксидами алюминия в составе свежего адсорбента Axstrap (рис.1).

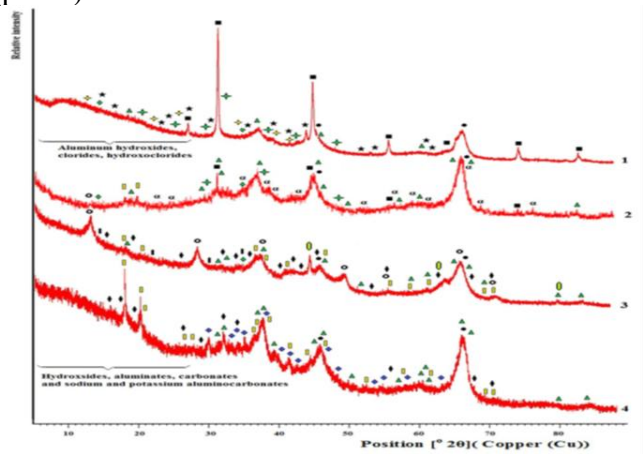

Рис.1. Дифрактограммы образцов на разных стадиях приготовления модифицированного адсорбента Уз-АД-6.

(1)-отработанный Axstrap-860; (2)-промытый и высушенный Axstrap-860; (3) - свежий Ax-strap-860; (4)-Уз-АД-6.

Максимальная концентрация хлоридов натрия и алюминия наблюдалась во фронтальном слое промышленного адсорбера и постепенно снижалась до полного отсутствия AlCl3 на выходе. При взаимодействии бёмита в составе свежего адсорбента с HCl, а также NaCl с поверхностными рентгеноаморфными алюминатами натрия образуются хлориды и гидроксохлориды алюминия (рис.1).

Заключение. Глубокая переработка отработанных адсорбентов с получением носителей и коагулянтов представляет собой перспективное направление в области устойчивой химической технологии. Разработка эффективных методов осаждения и переработки позволяет создавать материалы с заданными свойствами и повышенной функциональностью, в том числе в условиях очистки газов и вод.

Проведённые исследования показали, что разработанные технологии также позволяют использовать промышленные отходы в качестве источников алюминия, повышая ресурсную эффективность. Анализ отработанных адсорбентов показал возможность их вторичной переработки с получением качественного сорбционного материала (например, Уз-АД-6),

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

способного частично восстановить исходные свойства. Полученные результаты могут быть применены для оптимизации промышленных процессов очистки газов, воды и в производстве экологически устойчивых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yunusov, M. P., Jalalova, Sh. B., Molodozhenyuk, T. B., Isaeva, N. F., Mirzaeva, Ye. I., Gulomov, Sh. T., Makhamov, Kh. M., Bakhramov, R., & Nasullaev, Kh. (2013, July 12). Neft fraksiyalarini gidrotozalash katalizatori va uni tayyorlash usuli [Patent application No. IAP 2013 0289; Registration No. IAP 05423]. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi.
2. Исаева, Н. Ф., Турдиева, Д. П., Искандаров, Н. Э., & Ходжиев, Р. Г. (2020, 26 ноября). Получение коагулянтов для очистки воды в процессе переработки использованных адсорбентов хлорсодержащих соединений. В Международная конференция «Наука и инновации» (Ташкент) (сс. 127–129).
3. Mustafayev, B. J., Turdieva, D. R., Rahimov, X. B., Yunusov, M. P., Xudayberdiev, A. J., Sayidov, U. X., Maxkamov, X. M., & Isaeva, N. F. (2023, June 8). Gaz va suyuqliklar tarkibidagi xlorli birikmalarni yutuvchi adsorbent olish usuli [Patent application No. FAP 20220168; Registration No. FAP 2411]. O‘zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi.
4. Isaeva, N. F., Ibodullaev, S., Khodjiev, R., Mirzaeva, Ye., Turdieva, D., & Mamatkulov, Sh. (2022). Complex processing of adsorbent used in the purification of hydrogen-containing gas. Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 17(1), 32–45. https://bcrec.id
5. Исаева, Н. Ф., Курбанова, Д. Г., Турсункулов, О. М., Рахимжонов, Б. Б., & Юнусов, М. П. (2020, 26 ноября). Получение гидроксида алюминия на основе местного сырья для катализаторов гидропроцессов. В Международная научная конференция «Наука и инновация» (Ташкент) (сс. 62–64).